Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 1, Spring 2023, p. 261-275

Increasing Vase Life of Cut Gerbera cv. Rosalin Flowers Using Nanocomposites as Preservative Solution

S. Garavand[1], S.F. Mousavi[2], H. Hekmatara[3*]

Received: 31-03-2022 Revised: 05-06-2022 Accepted: 13-06-2022 Available Online: 13-06-2022	**How to cite this article:** Garavand, S., Mousavi, S.F., & Hekmatara, H. (2023). Increasing vase life of cut gerbera cv. Rosalin flowers using nanocomposites as preservative solution. *Journal of Horticultural Science 37*(1): 261-275. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/jhs.2022.76018.1154

Introduction

Gerbera is one of the most important cut flowers that has a short vase life. Like other cut flowers, one of the main concerns after harvesting this flower is reducing its quality. The application of carbon nanotubes as preservative solutions increase water uptake, balances water relations, and increases the vase life of cut flowers. Agglomeration, lack of proper dispersion, and severe hydrophobicity are the disadvantages of carbon nanotubes that prevent optimal dispersion in the solution. In this study, polymers (polyvinyl pyrrolidone (PVP), polyethylene glycol (PEG), and non-ionic surfactant Triton X-100) were used to increase the dispersion of multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs). Their effect on the longevity of cut gerbera flowers was also investigated.

Materials and Methods

The experiment was performed as a factorial experiment in a completely randomized design with four replications. Gerbera (*Gerbera jamesonii* cv. Rosalin) flowers with fully opened ray florets were purchased. During transportation, each cut flower was covered individually with a cellophane sheet and was placed inside a box of paper to minimize water loss. Gerbera stems were placed in a vase solution as pulse treatment for 24h. Treatments included various concentrations of nanocomposite including control (distilled water), MWCNTs-PVP nanocomposite (1 and 2 mg L^{-1}), MWCNTs-PEG nanocomposite (1 and 2 mg L^{-1}), and MWCNTs-Triton X-100 nanocomposite (1 and 2 mg L^{-1}). Distilled water was used for the control treatment. After the cut gerbera flowers underwent pulse treatment, they were placed individually into glass vases filled with distilled water. Throughout the experiment, the vase life, relative fresh weight, water uptake, relative water content of petals and stems, as well as the bacterial population at the end of the stem were measured.

Results and Discussion

The study showed that the MWCNTs-Triton X-100 with a concentration of 2 mg L-1 provided the longest vase life of cut flowers, with a duration of 22.5 days, which was an 8-day increase compared to the control. The other nanocomposites (MWCNTs-PVP and MWCNTs-PEG) also improved the longevity of the cut flowers compared to the control. The nanocomposites in the vase solution affected the relative fresh weight and water uptake of the cut stems. The study found that the water uptake pattern was similar to the fresh weight of the flower, and the water uptake capacity of the stem gradually decreased with time. The MWCNTs-Triton X-100 with a concentration of 1 mg L-1 resulted in the highest amount of water uptake. Cut flowers pulsed with this concentration exhibited the highest relative water content in both petals and stems. The application of MWCNTs-PEG nanocomposite (1 mg L^{-1}) in vase solution increased the relative fresh weight of gerbera cut flowers. Our findings suggest that MWCNTs can increase water uptake, resulting in increased fresh weight in the cut stem. SEM analysis revealed that after the evaluation period, MWCNTs were detected in the stem of cut

1- M.Sc. Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University
2- Ph.D. Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres, Tehran
3- Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan
(*- Corresponding Author Email: H.Hekmatara@vru.ac.ir)
DOI: 10.22067/jhs.2022.76018.1154

gerbera and deposited on the stem's internal surface. Our finding showed that the bacterial population at the end of the stem in control treatment during the vase life period was higher than the bacterial population at the end of the stem of flowers treated with MWCNTs-Triton X-100 treatment (2 mg L^{-1}). Therefore, reducing bacterial blockages in the xylem vessels improves the water uptake and vase life of cut flowers.

Conclusion

When gerbera cut flowers are harvested and kept in vase solutions, they face some challenges including wounding and water stress. Continuity of water flow in cut flower stem after cutting is an important factor in determining postharvest quality and longevity of cut flowers. Applying a solution containing well-dispersed MWCNTs is a novel approach for facilitating the entry of this nanotube into plants. The use of a composite of MWCNTs with X-100, PVP, and PEG exhibits excellent dispersion properties in the aqueous media of vase solution. These nanocomposites were successful compounds in increasing water uptake, maintaining fresh weight, and increasing the vase life of gerbera cut flowers. The findings of the present study showed that nanocomposites inhibit bacterial growth. These results suggest that the elimination of barriers to water flow in the cut stem helps to keep the longevity and delayed senescence.

Keywords: Bacteria, Multi-walled carbon nanotubes, Non-ionic surfactant, Vase life, Water uptake

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص. ۲۷۵-۲۶۱

افزایش ماندگاری گل بریدنی ژربرا رقم 'Rosalin' با استفاده از نانوکامپوزیت‌ها به عنوان محلول نگهدارنده

سیمین گراوند[۱]- سیده فرزانه موسوی[۲]- سیده هدی حکمت آرا[۳]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۳/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۳

چکیده

ژربرا یکی از مهم‌ترین گل‌های شاخه بریده است که عمر گلجای کوتاهی دارد. مانند سایر گل‌های شاخه بریده، یکی از نگرانی‌های اصلی پس از برداشت این گل کاهش کیفیت آن است. کاربرد نانولوله‌های کربنی به عنوان محلول‌های نگهدارنده موجب افزایش جذب آب، تعادل روابط آبی و افزایش عمر گلجای گل‌های شاخه بریده می‌شود. تجمع، پراکندگی نامناسب و آبگریزی شدید از معایب نانولوله‌های کربنی است که مانع پراکنش مطلوب در محلول گلجای می‌شود. در این تحقیق برای افزایش پراکندگی نانولوله‌های کربنی چند دیواره از انواع پلیمرها (پلی وینیل پیرولیدون، پلی‌اتیلن گلیکول و سورفکتانت غیریونی تریتون ایکس ۱۰۰) استفاده شد تا تاثیر آن‌ها در ماندگاری گل شاخه بریده ژربرا مورد بررسی قرار گیرد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل شاهد (آب مقطر)، نانولوله‌های کربنی عامل‌دار شده با پلی وینیل پیرولیدون (۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر)، نانولوله‌های کربنی عامل‌دار شده با پلی اتیلن گلیکول (۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر) و نانولوله‌های کربنی عامل‌دار شده با تریتون ایکس ۱۰۰ (۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر) به صورت تیمار کوتاه مدت (۲۴ ساعت) بودند. در این آزمایش عمر گلجای، وزن تر نسبی گل، میزان جذب آب، محتوای نسبی آب گلبرگ و محتوای نسبی آب ساقه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بیشترین عمر گلجای با ۲۲/۵ روز مربوط به تیمار نانولوله‌های کربنی عامل‌دار شده با تریتون ایکس ۱۰۰ با غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر بود که ماندگاری گل‌ها را حدود ۸ روز نسبت به شاهد افزایش داد. نانوکامپوزیت‌های موجود در محلول گلجای بر وزن تر نسبی و جذب آب ساقه های بریدنی تأثیر داشتند. در این مطالعه مشخص شد که جذب آب الگوی مشابه وزن تازه گل دارد و ظرفیت جذب آب ساقه به تدریج با گذشت زمان کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج، تغییرات وزن تر و جذب آب در ساقه گل‌های تیمار شده با نانولوله‌های کربنی عامل‌دار شده با پلی اتیلن گلیکول با غلظت ۱ میلی‌گرم بر لیتر کندتر بود. استفاده از نانولوله‌های کربنی عامل‌دار شده با تریتون ایکس ۱۰۰ با غلظت ۱ میلی گرم بر لیتر در محلول گلجای سبب شد تا محتوای نسبی آب گلبرگ و ساقه حفظ شود. تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی روبشی تایید کننده حرکت نانولوله‌ها به بخش‌های بالایی گل و جذب و جابجایی آن‌ها در ساقه گل بریدنی ژربرا بود. یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که جمعیت باکتری در انتهای ساقه تیمار شاهد بیشتر از جمعیت باکتریایی انتهای ساقه گل‌های تیمار شده با نانوکامپوزت‌ها بود. نانولوله‌های کربنی چند دیواره همراه با پلی وینیل پیرولیدون، پلی اتیلن گلیکول و تریتون ایکس ۱۰۰ ترکیبات موفقی در افزایش جذب آب، حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری گل شاخه بریده ژربرا بودند. بنابر نتایج این آزمایش، حذف موانع جریان آب در ساقه بریده به حفظ ماندگاری و تاخیر در پیری گل کمک می‌کند.

واژه‌های کلیدی: باکتری، جذب آب، سورفکتانت غیریونی، عمر گلجای، نانولوله‌های کربنی چند دیواره

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشگاه ایلام
۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس تهران
۳-دانشیار، گروه فیزیک، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان
(*- نویسنده مسئول: Email: h.hekmatara@vru.ac.ir)

DOI: 10.22067/jhs.2022.76018.1154

مقدمه

عمر گلجای و کیفیت گل از نظر اقتصادی عوامل مهمی برای بازاریابی گل‌های شاخه بریدنی است، زیرا ماندگاری کوتاه پس از برداشت و کیفیت پایین آن‌ها منجر به مشکلاتی برای حمل و نقل برای مسافت‌های دور و کاهش ارزش تجاری می‌شود (Shabanian et al., 2020). ژربرا با نام علمی *Gerbera jamesonii* L. گیاهی از خانواده کلاهپرک‌سانان۱ است و به عنوان یکی از مهم‌ترین گل‌های بریدنی محسوب می‌شود (Dole *et al*., 2004). محبوبیت ژربرا به دلیل ظاهر جذاب، تنوع گسترده رنگ‌ها و توانایی رشد در شرایط مختلف محیطی است (Hema *et al*., 2018). با این حال، ژربرا مانند سایر گل‌های شاخه بریدنی، محصولی بسیار زوال‌پذیر با عمر گلجای بسیار کوتاه است که تحت تاثیر میزان خمیدگی ساقه (خمیدگی یا شکستن گردن) می‌باشد. این شاخص در تعیین ارزش تجاری آن بسیار مهم است (García-González *et al*., 2022).

امروزه، برای افزایش ماندگاری گل‌های شاخه بریدنی و تازه نگه داشتن آن‌ها برای مدت طولانی‌تر از محلول‌های نگهدارنده مختلفی استفاده می‌شود (Paul *et al*., 2021). این محلول‌های نگهدارنده برای تأمین مقدار بیشتری از کربوهیدرات به عنوان منبع انرژی، افزایش هیدراسیون گل و افزایش جذب مواد مغذی استفاده می‌شوند (Hema *et al*., 2018). در این میان به کار بردن ترکیبات حاوی نانو ذرات در محلول‌های نگهدارنده برای جلوگیری از انسداد آوندی و افزایش ماندگاری پس از برداشت گل‌های بریدنی به طور روز افزون در حال افزایش است (Atefepour *et al*., 2021). در بین همه مواد نانو، نانولوله‌های کربنی[2] بیشتر مورد توجه هستند (Saifuddin *et al*., 2013) زیرا دارای خواص منحصر به فرد ساختاری، الکتریکی، مکانیکی و حرارتی هستند که در دو شکل اصلی تک دیواره[3] و چند دیواره[4] وجود دارند (Zhou *et al*., 2019). نانولوله‌های کربنی به خاطر قابلیت عبور از سلول نقش مهمی در فیزیولوژی و نمو گیاه دارند (Tiwari *et al*., 2014). همچنین می‌توانند به انتقال سریع آب و مواد مغذی به داخل گیاهان کمک کنند (Joseph *et al*., 2008).

از طرف دیگر، یکی از مشکلات نانولوله‌های کربنی، فعل و انفعالات قوی واندروالس و آبگریزی آن‌ها است که موجب پراکندگی ضعیف در حلال‌های آبی می‌شود و این ویژگی شیمیایی، دامنه کاربردهای نانولوله‌های کربنی را تا حد زیادی محدود می‌کند (Gopannagari *et al*., 2018). بنابراین، عامل‌دار کردن یا اصلاح نانولوله‌های کربنی یکی از راه‌های متمایز افزایش خواص سطح جذبی نانولوله‌های کربنی، بر اساس گروه‌های عاملی متصل شده توسط پیوند کووالانسی یا غیرکووالانسی روی دیواره جانبی یا نوک نانولوله‌های کربنی است و آب دوستی و انحلال‌پذیری نانولوله‌های کربنی را در آب بهبود می‌بخشد (Bankole *et al*., 2019).

علاوه بر این، برخی از سورفکتانت‌ها برای پراکندگی نانولوله‌ها کربنی استفاده می‌شوند که می‌توان به تریتون ایکس ۱۰۰[5] اشاره کرد (Fatemi 2015). سورفکتانت‌ها ترکیبات آلی هستند که اغلب برای بهینه‌سازی سطوح جاذب‌ها خصوصا جاذب‌های نانو به طریق فیزیکی به کار برده می‌شوند. این ترکیبات دارای یک سر آبدوست و یک سر آبگریز هستند (Jamaloei 2009). بخش آبگریز سورفکتانت نقش مهمی در ایجاد برهمکنش‌های قوی با آب و CNTs ایفا می‌کند که منجر به پراکندگی CNTsها در محلول آبی می‌شوند (Fatemi 2015). همچنین پلیمرهایی مانند پلی‌وینیل پیرولیدون[6] و پلی اتیلن گلیکول[7] نیز در افزایش حلالیت نانولوله‌های کربنی نقش دارند (Liu *et al*., 2008). PVP به دلیل دارا بودن خواص منحصر به فرد، مؤثرترین سورفکتانت است. آن‌ها از ترکیبات آبدوست، مانند نیمه پیرولیدون (C=O، C-N) و گروه های آبگریز مانند آلکیل (CH2) تشکیل شده‌اند. PVPها در حلال‌های قطبی (مانند الکل) محلول هستند و می‌توانند خواص حرارتی و مکانیکی پلیمر را با افزایش اتصال عرضی بین زنجیره‌های مولکولی افزایش دهند و موجب پراکندگی یکنواخت نانوذرات در پلیمر شوند (Koczkur et al., 2015؛ Uthaman et al., 2021). پلی اتیلن گلیکول پلیمری است متشکل از واحدهای تکراری اتیلن گلیکول با وزن مولکولی در محدوده ۲۰۰ تا ۶۰۰۰ است که در وزن مولکولی ۲۰۰ تا ۸۰۰ به شکل مایع و در وزن مولکولی بالاتر از ۱۰۰۰ به حالت جامد مومی است. این پلیمر در برابر تجزیه حاصل از اسیدها و بازها پایدار و کاملا محلول در آب است (Pisal *et al*., 2010 Koob 2006 ,).

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کاربرد نانولوله‌های کربنی در گیاهان سبب افزایش توانایی جذب آب در گیاه و افزایش نهایی تولید و عملکرد محصول می‌گردد (Haghighi 2014). مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد نانولوله‌های کربنی در محلول‌های نگهدارنده موجب افزایش جذب بیشتر آب، تعادل روابط آبی، حفظ کیفیت، افزایش عمر گلجای در گل رز (Ahmadi-Majd *et al*., 2021) و میخک (Ahmadi-Majd *et al*., 2022) شده است. همچنین CNTs از طریق افزایش فعالیت آنتی اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی، سبب

1- Asteraceae
2- Carbon Nanotubes (CNTs)
3- Single-wall carbon nanotubes (SWCNTs)
4- Multi-wall carbon nanotubes (MWCNTs)
5- Triton X-100
6- Polyvinylpyrrolidone (PVP)
7- Polyethylene glycol (PEG)

کاهش تخریب کلروفیل، نشت الکترولیت و پراکسیداسیون لیپیدی شدند. امینگاد و همکاران (Amingad *et al*., 2017) نیز گزارش کردند که محلول‌های نانو نقره در حفظ روابط آبی و مهار تکثیر باکتری‌ها و به تأخیر انداختن تخریب پس از برداشت در گل‌های شاخه بریدنی رز موثر بودند. در تحقیقی اثر محلول‌پاشی نانو ذرات کلسیم بر کیفیت و عملکرد گل گلایول بررسی شد. نتایج نشان داد تیمارهای نانو ذرات کلسیم بر میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و عمر گلجای مؤثر بودند (Chehrazi *et al*., 2018). گل ژربرا یکی از ۱۰ گل برتر جهان محسوب می‌شود که به دلیل داشتن تنوع رنگ و گلبرگ‌های زیبا یکی از محبوب‌ترین گل‌های بریدنی است. گل ژربرا در ایران نیز از جایگاه فروش خوبی برخوردار است، اما یکی از مشکلات تولید و صادرات گل‌های شاخه بریدنی ژربرا نابسامانی‌های فیزیولوژیک و کوتاه بودن ماندگاری پس از برداشت است. بنابراین، پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر نانولوله‌های کربنی عامل‌دار شده با پلی‌وینیل پیرولیدون، پلی اتیلن گلیکول و تریتون ایکس ۱۰۰ در حفظ جذب آب و ماندگاری گل بریدنی ژربرا انجام شد. همچنین از اهداف مطالعه، تعیین بهترین غلظت و ترکیب نانوکامپوزیت‌ها در افزایش ماندگاری گل ژربرا بود.

مواد و روش‌ها

مواد آزمایشی و تیمارهای مورد بررسی

این پژوهش در آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام با شرایط کنترل شده (دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی حدود ۶۰ درصد و دوره نوری ۱۲ ساعت) انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و هر تکرار شامل سه شاخه گل مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایش شامل شاهد (آب مقطر)، نانوکامپوزیت نانولوله کربنی چند دیواره- پلی وینیل پیرولیدون (MWCNTs-PVP، ۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر)، نانوکامپوزیت نانولوله کربنی چند دیواره- پلی اتیلن گلیکول (MWCNTs-PEG، ۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر)، محلول نانوکامپوزیت نانولوله کربنی چند دیواره - تریتون ایکس ۱۰۰ (MWCNTs-Triton X-100، ۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر) بود. مدت زمان اعمال تیمارها به صورت ضربانی یا تیمارکوتاه مدت (۲۴ ساعت) در نظر گرفته شد. در این پژوهش ابتدا گل‌های بریدنی ژربرا رقم 'Rosalin' از گلخانه تجاری واقع در استان تهران شهرستان پاکدشت تهیه شد. سپس گل‌های ژربرا در مرحله کاملاً باز از ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری از گیاه مادری انتخاب و برداشت شده و بدون قرار دادن در آب و یا محلول خاصی در دسته‌های ۱۰ تایی بسته‌بندی و در سریع‌ترین زمان ممکن به آزمایشگاه گروه علوم باغبانی منتقل شدند. پس از انتقال به آزمایشگاه، عملیات بازبرش ساقه تا ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری به صورت اریب انجام شد و پس از توزین با ترازوی دیجیتالی، ساقه‌های گل در ارلن‌های ۲۵۰ سی‌سی حاوی هر کدام از تیمارها قرار گرفتند. پس از گذشت ۲۴ ساعت، محلول‌ها از ظرف گلجای خارج و انتهای گل‌ها با آب مقطر شسته شد. سپس گل‌ها به ظرف‌های حاوی آب مقطر منتقل شدند. در طول دوره‌ی آزمایش (۲۵ روز)، به منظور جلوگیری از آلودگی ظروف گلجای به طور مرتب هر دو روز یکبار تعویض شد.

صفات مورد ارزیابی

عمر گلجای (ماندگاری)

برای ارزیابی پایان ماندگاری گل شاخه بریدنی ژربرا، به صورت روزانه از دو شاخص پژمردگی گلبرگ‌ها و خمیدگی ساقه استفاده شد که دو عامل کاهش بازار پسندی ژربرا هستند (Perik *et al*., 2012). بنابراین هر کدام از این شاخص‌ها در گیاه پدیدار می‌شد به عنوان پایان ماندگاری گل در نظر گرفته می‌شد.

جذب آب

برای اندازه گیری میزان جذب آب توسط ساقه گل، وزن ظرف حاوی محلول نگهدارنده بدون ساقه گل در روز اول و در طی دوره آزمایش به صورت متناوب اندازه‌گیری و مقایسه شد و طبق معادله ۱ و بر حسب گرم وزن‌تر ساقه بر روز محاسبه شد (He *et al*., 2006).

معادله ۱

$$WU\ (g\ stem^{-1}\ day^{-1}) = (S_{t-1} - S_t)/W_t$$

در معادله فوق WU[1]: جذب آب، S_t: وزن ظرف حاوی محلول در روز مورد نظر، S_{t-1}: وزن ظرف حاوی محلول در روز قبل و W_t: وزن شاخه گل در روز مورد نظر را نشان می‌دهد.

وزن تر نسبی گل

وزن تر نسبی گل‌ها به صورت روزانه با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. به این صورت که گل‌ها در روز صفر قبل از اعمال تیمار و در طول دوره آزمایش توسط ترازو وزن شدند و طبق معادله ۲ محاسبه شد (He *et al*., 2006).

معادله ۲

$$RFW\ (\%) = (FW_t/FW_{t=0}) \times 100$$

که در این فرمول RFW[2]: وزن تر نسبی (درصد)، FW_t: وزن گل بر حسب گرم در روز مورد نظر و $FW_{t=0}$: وزن همان گل بر حسب گرم در روز صفر قبل از اعمال تیمار است.

1- Water uptake
2- Relative fresh weight

محتوای نسبی آب گلبرگ و ساقه[۱] (RWC)

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب گلبرگ‌ها و ساقه، به طور جداگانه از گلچه‌های زبانه‌ای و ساقه نمونه گرفته و وزن‌تر[۲] (FW) آن‌ها اندازه گیری شد. سپس برای اندازه‌گیری وزن آماس شده[۳] (TW) همان نمونه‌ها به مدت چهار ساعت به صورت شناور در آب قرار داده شدند و وزن آن‌ها در شرایط آماس اندازه‌گیری شد. در ادامه، برای اندازه‌گیری وزن خشک[۴] (DW)، نمونه‌های گلبرگ و ساقه در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه آون به طور کامل خشک شدند و محتوای نسبی آب طبق معادله ۳ محاسبه شد (Smart 1974).

معادله ۳

$$RWC\ (\%) = (FW-DW) / (TW-DW) \times 100$$

جمعیت باکتریایی انتهای ساقه

برای شمارش جمعیت باکتریایی در انتهای ساقه، ابتدا یک سانتی‌متر انتهایی ساقه برش داده شد و در ظرف استریل به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه برای رقیق‌سازی یک گرم از هر ساقه از آب پپتون استفاده شد که پس از خرد شدن و همگن شدن، رقیق‌سازی تا غلظت 10^{-5} ادامه داشت. سپس به ظرف‌های پتری که حاوی یک میلی‌لیتر محلول بود، منتقل شدند. به هر ظرف پتری‌دیش محیط ۱۰ میلی‌لیتری آگار استریل اضافه شد، این مخلوط به مدت ۵ تا ۱۰ ثانیه به آرامی همزده شد. سپس نمونه‌ها به مدت دو روز به دستگاه آنکوباتور که در دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد تنظیم شده بود منتقل شدند. در پایان کلونی‌های باکتری بر اساس $\log\ CFU\ g^{-1}$ شمارش شدند (Liu *et al*., 2009 Balestra *et al*., 2005 ,).

ردیابی نانولوله در ساقه

به منظور ردیابی نانولوله در ساقه، در روز چهارم آزمایش نمونه ساقه تهیه و آماده شد (Haberman *et al*., 2017). برای این کار ابتدا با استفاده از چاقوی تیز جراحی از انتهای ساقه گل به تعداد مورد نیاز نمونه گرفته شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق درون پتری‌دیش با ۵ تا ۱۰ میلی‌لیتر محلول گلوتارآلدهید (۵ درصد) به صورت غوطه‌ور قرار داده شدند. نمونه‌ها با بافر ۵۰ میلی‌مولار فسفات (پنج بار) شستشو داده شدند که در هر بار شستشو نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در بافر قرار داده شدند. سپس به طور جداگانه محلول‌های اتانول ۲۵، ۵۰، ۷۵ ، ۹۵ و ۱۰۰ درصد به نمونه‌ها (به مدت یک ساعت به صورت غوطه‌ور) اضافه شد و هر بار محلول اتانول با استفاده از پیپت از نمونه‌ها خارج شد. در نهایت پس از خشک شدن نمونه‌ها، برای ردیابی و بررسی وضعیت نانولوله‌ها، در ظروف مخصوص و شیشه‌ای بسته‌بندی و به آزمایشگاه ارسال شدند. سپس در مرکز تحقیقاتی و خدمات آزمایشگاهی بنیاد علوم کاربردی رازی توسط میکروسکوپ الکترونی SEM (با دقت اندازه‌گیری ۱۰ نانومتر، واحد اندازه‌گیری میکرومتر تا چند نانومتر) ردیابی و عکس‌برداری انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

عمر گلجای (ماندگاری)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عمر گلجای نشان داد که بین تیمارهای اعمال شده با تیمار شاهد در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۱). مهم‌ترین صفت مورد ارزیابی در گل‌های شاخه بریدنی ژربرا، عمر گلجای است که با توجه به نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین میزان عمر گلجای با ۲۲/۵ روز مربوط به تیمار نانوکامپوزیت MWCNTs-Triton X-100با غلظت دو میلی گرم بر لیتر بود که عمر گلجای گل‌ها را حدود ۸ روز (۳۳/۳۳ درصد) نسبت به شاهد افزایش داد. کمترین میزان عمر گلجای نیز مربوط به تیمار شاهد (۱۵ روز) بود که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت (شکل ۱).

از مهم‌ترین فاکتورها برای تعیین ارزش اقتصادی گل‌های شاخه بریدنی حفظ کیفیت و افزایش عمر گلجای پس از برداشت است. عمر گلجای ژربرا به شکستگی و خمیدگی گردن بستگی دارد، که این خمیدگی به علت عدم جذب آب کافی و در نتیجه آماس کم سلول است (Gerabeygi *et al*., 2021). همان‌طور که ذکر شد نانولوله‌های کربن موجب افزایش عمر گلجای ژربرا شدند. دلیل افزایش ماندگاری پس از برداشت ژربرا در این پژوهش را می‌توان به افزایش جذب آب، کاهش بار میکروبی انتهایی ساقه و برقراری تعادل آبی توسط نانولوله‌های کربنی مربوط دانست. در واقع نانولوله‌های کربنی با تاثیر بر کانال‌های عبور آب در غشاء سلولی و تنظیم عمل آن‌ها می‌توانند به ورود آب به درون سلول‌ها کمک کنند و موجب بهبود انتقال آب در گیاه می‌شوند (Fathi *et al*., 2017 , Khodakovskaya *et al*., 2009).

1- Relative water content
2- Fresh weight
3- Turgit weight
4- Dry weight

جدول ۱- تجزیه واریانس عمر گلجای گل شاخه بریده ژربرا رقم 'Rosalin'در پاسخ به نانوکامپوزیت‌ها به عنوان محلول گلجای

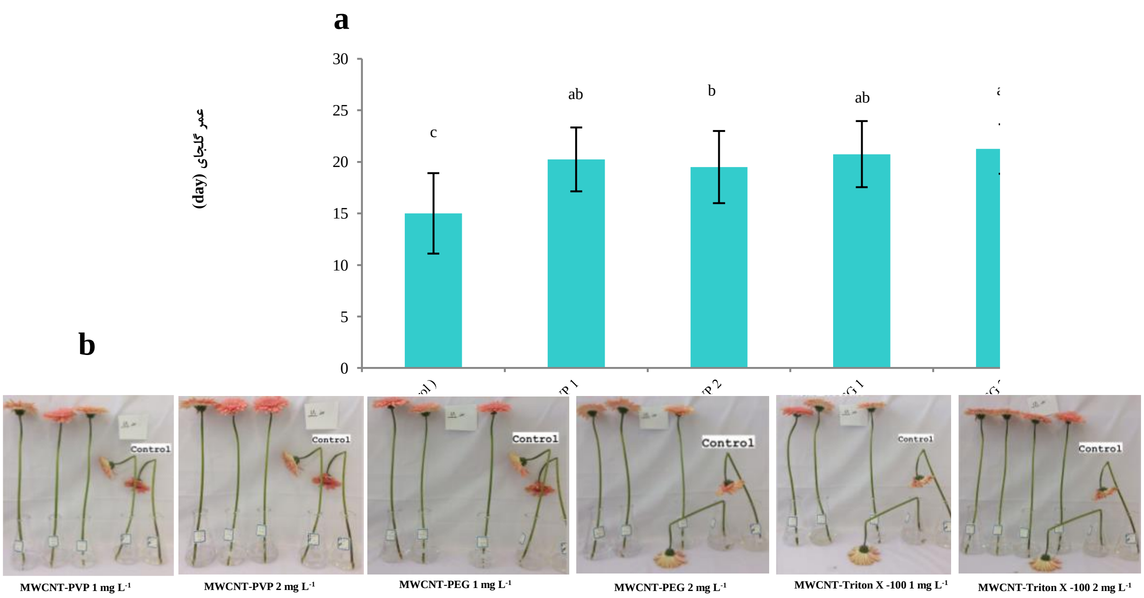
Table 1- ANOVA for the vase life of gerbera cv. 'Rosalin' cut flowers in response of nanocomposites as a vase solution.

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares عمر گلجای Vase life
نانوکامپوزیت Nanocomposite	6	23.47**
خطا Error	21	1.57
ضریب تغییرات CV (%)	-	6.24

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

** : significant at p<0.01.

به علاوه انتقال نانولوله‌های کربنی از طریق سیستم آوندی امکان‌پذیر است، این نانوذرات به همراه آب و مواد غذایی وارد ساقه شده و سپس امکان جابجایی آن‌ها در سراسر گیاه از طریق تعرق میسر می‌گردد (Liné *et al.*, 2017). در پژوهشی استفاده از نانولوله‌های کربنی در محلول‌های نگهدارنده سبب افزایش عمر گلجای گل‌های شاخه بریدنی میخک شد. مشخص شد که نانولوله‌های کربنی از طریق بهبود تعادل آب، جذب آب را بیشتر از تعرق تحریک کرده و وزن‌تر گل‌های شاخه بریدنی را افزایش می‌دهند (Ahmadi-Majd *et al.*, 2022). در یک تحقیق مشخص شد که عمر گلجای گل‌های تیمار شده ژربرا با نانو ذرات نقره در مقایسه با نیترات نقره معمولی و شاهد افزایش یافت (Avilala *et al.*, 2021). این اثر نانو ذرات نقره در افزایش عمر گلجای به دلیل کاهش رشد باکتری‌ها و انسداد آوندی، جذب آب بیشتر، کاهش سرعت تعرق و مهار عمل اتیلن عنوان شد.



شکل ۱- تاثیر نانوکامپوزیت‌های مختلف به عنوان محلول گلجای بر عمر گلجای(a) و کیفیت ظاهری گل های شاخه بریده (b) ژربرا رقم 'Rosalin'

Figure 1- The effect of different nanocomposites as vase solutions on the vase life (a) and visual quality (b) of gerbera cv. 'Rosalin' cut flowers

جذب آب

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثرات ساده نانوکامپوزیت‌ها، زمان و برهمکنش نانوکامپوزیت‌ها و زمان بر میزان جذب آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد میزان جذب آب با گذشت زمان و با پایان ماندگاری گل‌ها کاهش پیدا کرد، روند کاهش جذب آب در

تیمارهای نانوکامپوزیت نسبت به شاهد کمتر بود. تیمار MWCNTs-Triton X-100 با غلظت یک میلی‌گرم بر لیتر بیشترین تاثیر را در جذب آب داشت. کمترین میزان جذب آب مربوط به شاهد و تیمار MWCNTs-PEGبا غلظت دو میلی‌گرم بر لیتر بود (شکل ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس جذب آب، وزن تر نسبی، محتوای نسبی آب گلبرگ‌ها و ساقه گل‌های شاخه بریده ژربرا رقم 'Rosalin' در پاسخ به نانوکامپوزیت ها به عنوان محلول گلجای

Table 2- ANOVA for water uptake, relative fresh weight, relative water content of petals and stem of gerbera cv. 'Rosalin' cut flowers in response to nanocomposites as vase solutions

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares جذب آب Water uptake	وزن تر نسبی Relative fresh weight	محتوای نسبی آب گلبرگ Petal relative water content	محتوای نسبی آب ساقه Stem relative water content
نانوکامپوزیت Nanocomposite	6	550.23**	11.47**	223.31**	941.39**
زمان Time	7	4902.01**	56.62**	1960.62**	1409.74**
نانوکامپوزیت× زمان Nanocomposite × Time	42	38.01**	0.59 ns	29.23 ns	384.06 ns
خطا Error	112	3.32	0.45	7.92	14.54
ضریب تغییرات CV (%)	-	3.6	3.9	5.15	5.97

ns و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد.

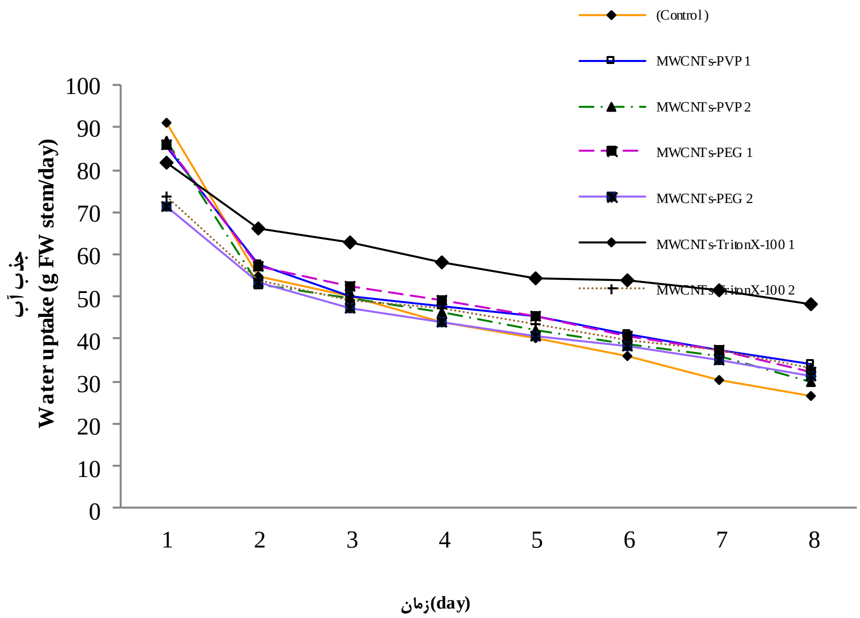
ns and **: non-significant and significant at p<0.01, respectively.

سرعت پایین جذب آب می‌تواند به دلیل انسداد بافت‌های آوند چوبی توسط حباب‌های هوا، تجمع میکروارگانیسم‌ها (باکتری‌ها و قارچ‌ها) و همچنین تولید و رسوب موادی مانند تانن و سوبرین در انتهای ساقه گل‌های بریدنی باشد (Shabanian *et al*., 2018 ,Wu *et al*., 2019). تحقیقات انجام شده نشان داده که نانوذرات از طریق کاهش رشد باکتری‌ها در محلول‌های نگهدارنده، جذب آب و عمر گلجای گل‌های بریدنی را افزایش می‌دهند (Maity *et al*., 2019). بنابراین در پژوهش حاضر افزایش سرعت جذب آب در گل ژربرا ممکن است به دلیل بهبود روابط آبی و خاصیت ضد باکتریایی نانوکامپوزیت‌ها باشد. نانوذرات روی سطح میکروارگانیسم‌ها جذب می‌شوند و با ایجاد سوراخ در دیواره سلولی آن‌ها وارد سیتوپلاسم شده و به طور مستقیم یا غیرمستقیم پروتئین‌ها را از بین می‌برند و در نهایت منجر به مرگ سلول‌های باکتریایی می‌شوند (Liao *et al*., 2019). به علاوه نانولوله‌های کربنی به دلیل ساختار لوله‌ای شکل می‌توانند مسیری برای جذب و انتقال آب به بخش‌های بالایی گیاه فراهم کنند و سبب بهبود روابط آبی در گیاه شوند (Khodakovskaya *et al*., 2009). بنابراین نانولوله‌های کربنی با افزایش جذب آب باعث بهبود خصوصیات ظاهری و فیزیولوژیکی گل‌های بریدنی در دوره پس از برداشت می‌شوند. یافته‌های حاضر همسو با نتایج پژوهش‌های پیشین مبنی بر نقش نانوذرات در افزایش جذب آب و عمر گلجای گل‌های بریدنی رز (El-Serafy 2019)، داودی و میخک (Rashidiani *et al*., 2020) است.

وزن تر نسبی گل

تجزیه واریانس داده‌ها نشان دادکه تأثیر تیمارهای مختلف بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). شکل ۳ نشان داد که در همه تیمارها با گذشت زمان وزن‌تر نسبی کاهش یافت. روند کاهش وزن‌تر در تیمار شاهد سریعتر از بقیه تیمارها بود. در تیمار MWCNTs-PEG با غلظت یک میلی‌گرم بر لیتر روند کاهش وزن‌تر نسبی کندتر بود. بیشترین میزان وزن‌تر در روز پایانی مربوط به غلظت یک میلی‌گرم بر لیتر MWCNTs-PEG بود.

وزن‌تر نسبی از شاخص‌های نشان‌دهنده روابط آبی مطلوب در گل‌های شاخه بریدنی است (Solgi 2020). در گل‌های شاخه بریدنی با گذشت زمان آوندها به دلیل رشد میکروارگانیسم‌ها مسدود می‌شوند (Jamali Moghadam 2021) و تعرق همراه با جذب آب پس از قطع گل افزایش می‌یابد. از این رو، اگر جذب آب کافی نباشد، ساقه‌های برش خورده آب خود را از دست می دهند و باعث کم آبی و از بین رفتن فشار تورژسانس در تمام بافت‌ها می‌شود (Perik *et al*., 2014).



شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف نانوکامپوزیت‌ها بر جذب آب گل‌هایشاخه بریده ژربرا رقم 'Rosalin'

Figure 2- The effect of different concentrations of nanocomposites on water uptake of gerbera cv. 'Rosalin' cut flowers

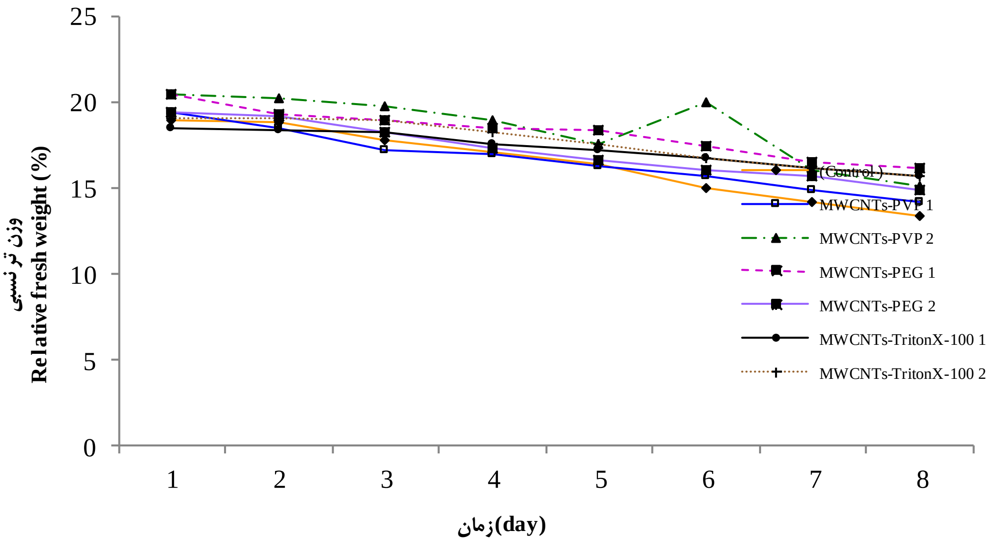
control (آب مقطر)، MWCNTs-PVP (۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانوکامپوزیت نانولوله کربنی چند دیواره- پلی وینیل پیرولیدون)، MWCNTs-PEG (۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانوکامپوزیت نانولوله کربنی چند دیواره- پلی اتیلن گلیکول)، MWCNTs-Triton X-100 (۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر محلول نانوکامپوزیت نانولوله کربنی چند دیواره - تریتون ایکس ۱۰۰)

گزارش شده است که مصرف آب توسط ساقه گل ژربرا با وزن گل مرتبط است، زیرا هر چه وزن و جذب آب بیشتر باشد، عمر گلجای بیشتر می‌شود (Abd-El-Hady 2020). در پژوهش حاضر نیز احتمال می‌رود که کاهش وزن‌تر نسبی گل‌های شاخه بریدنی در طول دوره پس از برداشت به علت کاهش جذب آب باشد. تغییرات وزن تر نسبی رابطه مستقیم با جذب آب دارد و بر اساس نتایج، بالا بودن میزان جذب آب و وزن‌تر نسبی گل در تیمارهای حاوی نانوکامپوزیت تاییدکننده جذب و جابجایی نانوکامپوزیت‌ها و نقش موثر آن‌ها در افزایش جذب آب و وزن‌تر گل‌های شاخه بریدنی ژربرا است. این احتمال وجود دارد که نانولوله‌های کربنی با تاثیر بر کانال‌های عبور آب در غشاء سلولی و تنظیم عمل آن بتوانند به ورود آب به درون سلول‌ها کمک کنند (Khodakovskaya *et al*., 2009). حسن (Hassan 2014) گزارش داد که نانوذرات نقره عمر گل‌های بریدنی رز را به دلیل حفظ وزن‌تر نسبی و محتوای نسبی آب طولانی‌تر کردند. علاوه بر این کاهش وزن‌تر یکی از نشانه‌های پیری گل بریدنی است که با از دست دادن آب همراه است (Jamali Moghadam 2021). نظری (Nazari 2017) نشان داد که نانوذرات نقره از کاهش جذب آب و وزن‌تر نسبی جلوگیری کرده و باعث به تاخیر انداختن پیری و افزایش عمر گلجای در گل شاخه‌بریدنی ژربرا رقم 'Pink Power' شدند.

محتوای نسبی آب گلبرگ و ساقه

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به محتوای نسبی آب گلبرگ و ساقه اثر نانوکامپوزیت، زمان و اثر متقابل نانوکامپوزیت‌ها و زمان در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد میزان افزایش محتوای نسبی آب گلبرگ در همه تیمارها به ویژه تیمار نانوکامپوزیت MWCNTs-Triton X-100 با غلظت ۱ میلی‌گرم بر لیتر (بیشترین مقدار محتوای نسبی آب) نسبت به شاهد بیشتر بود. میانگین داده‌ها نشان داد که محتوای نسبی آب گلبرگ در زمان اول (پنج روز پس از اعمال تیمار) نسبت به زمان دوم (پانزده روز پس از اعمال تیمار) بیشتر بوده است (جدول ۳). همچنین مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تیمارهای بکار رفته محتوای نسبی آب ساقه با گذشت زمان کاهش یافت، سرعت کاهش محتوای نسبی آب ساقه در همه تیمارها یکسان نبود، به طوری که بیشترین محتوای نسبی آب ساقه مربوط به تیمار MWCNTs-Triton X-100 با

غلظت یک میلی گرم بر لیتر بود. تغییرات محتوای نسبی آب از جذب آب در گل تبعیت می‌کند، افزایش محتوای آب نتیجه جذب بیشتر آب است. نتایج ارائه شده در شکل ۲ نشان داد که میزان جذب آب در تیمارهای حاوی نانوکامپوزیت بالاتر است و بیشترین جذب آب مربوط به تیمار نانوکامپوزیت MWCNTs-Triton X-100 با غلظت ۱ میلی‌گرم بر لیتر است. این تیمار همچنین در محتوای نسبی آب گلبرگ و ساقه بیشترین مقدار را نشان داد (جدول ۳).



شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف نانوکامپوزیت‌ها بر وزن تر نسبی گل‌های شاخه بریده ژربرا رقم 'Rosalin'

Figure 3- The effect of different concentrations of nanocomposites on relative fresh weight of gerbera cv. 'Rosalin' cut flowers

control (آب مقطر)، MWCNTs-PVP (۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانوکامپوزیت نانولوله کربنی چند دیواره- پلی وینیل پیرولیدون)، MWCNTs-PEG (۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر نانوکامپوزیت نانولوله کربنی چند دیواره- پلی اتیلن گلیکول)، MWCNTs-Triton X-100 (۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر محلول نانوکامپوزیت نانولوله کربنی چند دیواره - تریتون ایکس ۱۰۰)

جدول ۳- تأثیر نانوکامپوزیت‌های مختلف به عنوان محلول گلجای بر محتوای نسبی آب گلبرگ و محتوای نسبی آب ساقه گل شاخه بریده ژربرا رقم 'Rosalin'

Table 3- The effect of different nanocomposites as vase solutions on petals relative water content and stem relative water content of gerbera cv. 'Rosalin' cut flower

تیمار Treatment ($mg.l^{-1}$)	محتوای نسبی آب گلبرگ Petal relative water content (%)		محتوای نسبی آب ساقه Stem relative water content (%)	
	روز پنجم Day 5	روز پانزدهم Day 15	روز پنجم Day 5	روز پانزدهم Day 15
Control	^{fg}52.58	^{j}37.25	^{c}63.54	^{e}54.97
MWCNTs-PVP 1	^{cd}62.1	^{hi}46.47	^{c}63.88	^{de}56.38
MWCNTs-PVP 2	^{de}58.19	^{hi}47.6	^{cd}62.49	^{e}54.68
MWCNTs-PEG 1	^{bc}64.56	^{gh}49.9	^{c}63.5	^{e}53.25
MWCNTs-PEG 2	^{ef}56.49	^{i}43.91	^{c}63.09	^{e}54.85
MWCNTs- Triton X-100 1	^{a}69.53	^{ef}56.82	^{a}105.11	^{b}79.34
MWCNTs- Triton X-100 2	^{ab}66.86	^{f}52.69	^{c}65.88	^{e}52.9

میانگین‌های دارای حروف مختلف در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است.

Means followed with different letters in each column indicate a significant difference at $p \leq 0.05$ based LSD test

گلبرگ‌های یک گل مهم‌ترین بخش زینتی آن هستند و تورژسانس این بخش برای داشتن ظاهر جذاب و بازارپسند محصول ضروری می‌باشد (Abdoli *et al*., 2019). در بسیاری از گل‌های شاخه بریدنی، رشد میکروارگانیسم‌ها در آوندهای چوبی، جذب آب را

کاهش داده و مسیر عبور آب را به سر گل مسدود می‌کند و باعث پژمردگی زودرس گلبرگ‌ها می‌شود (Naing 2020). بنابراین حفظ آب گلبرگ و ساقه به کمک تیمارهای مختلف نقش مهمی جهت جلوگیری از پژمردگی و پیری گل‌ها دارد (Madadzadeh *et al.*, 2014). در این میان نانولوله‌های کربنی با داشتن ساختار لوله‌ای شکل سبب افزایش جذب آب و به دنبال آن افزایش محتوای آب گلبرگ و ساقه ژربرا شدند بدین ترتیب پژمردگی گلبرگ‌ها را به تأخیر انداختند. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد نانولوله‌های کربنی می‌توانند جذب آب در سلول‌های گیاه را افزایش دهند (Camargo *et al.*, 2009). این اثر نانولوله‌ها به فعال شدن یک پروتئین کانال آب (آکواپورین) در گیاهان نسبت داده شده است (Lahiani *et al.*, 2006, Villagarcia *et al.*, 2012). نتایج پژوهش سایر محققان در خصوص نقش نانوذرات نقره در افزایش محتوای آب گل‌ها و برگ‌های گل‌های شاخه بریدنی نتایج تحقیق حاضر را تایید می‌کند. محتوای آب زیاد گل‌ها و برگ‌ها می‌تواند ناشی از تیمارهای نانوذرات در افزایش جذب آب و کاهش تعرق و مهار رشد میکروبی در انتهای ساقه باشد (Bahremand 2014).

شمارش جمعیت باکتریایی انتهای ساقه

نمونه‌برداری از مقاطع عرضی ساقه در تیمار شاهد و نانوکامپوزیت MWCNTs-Triton X-100 با غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر (بهترین تیمار) انجام شد. نتایج بدست آمده از کشت باکتری نشان داد که جمعیت باکتریایی انتهای ساقه در شاهد در طول دوره گلجای بیشتر از جمعیت باکتریایی انتهای ساقه در تیمار نانوکامپوزیت MWCNTs-Triton X-100 (غلظت ۲ میلی گرم بر لیتر) بود (جدول ۴).

جدول ٤- جمعیت باکتری در انتهای ساقه گل شاخه بریده ژربرا رقم 'Rosalin'

Table 4- Bacterial population in stem end of gerbera cv. 'Rosalin' cut flower

تیمار Treatment	log CFU g^{-1}
Control	185×10^{7}
MWCNTs- Triton X-100 2	62×10^{5}

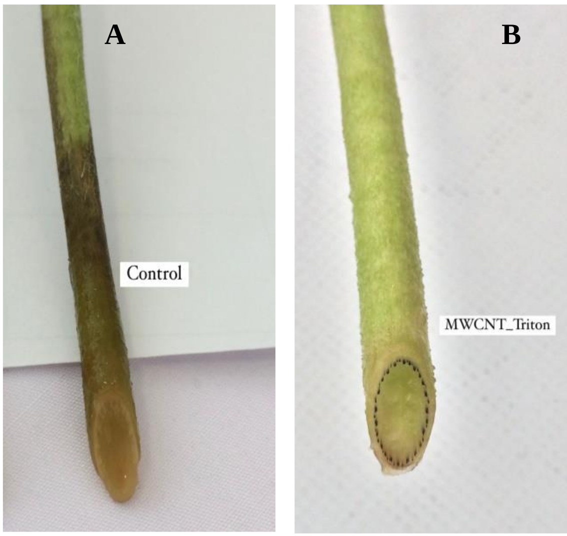
به طور معمول پس از قرارگیری گل‌های شاخه بریدنی در محلول‌های گلجای تکثیر میکروارگانیسم‌ها در انتهای ساقه باعث قطع انتقال آب و در نتیجه انسداد آوندی می‌شود (Hassan 2014). بنابراین ترکیبات ضدباکتریایی با مهار رشد باکتری‌های انتهای ساقه سبب افزایش جذب آب و کاهش جمعیت باکتریایی انتهای ساقه گل‌های شاخه بریدنی می‌شوند (Naing 2020). در این پژوهش مشاهده شد که کاربرد نانولوله‌های کربنی در طول دوره عمر گلجای از نظر میزان آلودگی به میکروارگانیسم‌ها، جمعیت باکتریایی و له شدن انتهای ساقه اثر قابل توجهی داشت. در مقایسه انجام شده بین تیمار نانوکامپوزیت MWCNTs-Triton X-100) با تیمار شاهد کاهش قابل توجهی از آلودگی در انتهای ساقه گل مشاهده شد (شکل ۴). این امر نشان‌دهنده نقش مطلوب نانوکامپوزیت‌ها در کاهش انسداد آوندی ناشی از رشد باکتری‌ها و در نتیجه افزایش جذب آب و ماندگاری گل‌های شاخه بریدنی است. در مطالعاتی نقش نانوذرات نقره در کاهش جمعیت باکتریایی انتهای ساقه و بهبود جذب آب در گل‌های شاخه بریدنی ارکیده (Rahman *et al.*, 2019)، آلسترومریا (Langroudi *et al.*, 2020) و آنتوریوم (Amin 2017) گزارش شده است. احتمال می‌رود نانوذرات با آسیب رساندن به اجزای سلول‌های باکتریایی مانند پروتئین‌ها، لیپیدها و حتی اسیدهای نوکلئیک از رشد آن‌ها جلوگیری کرده و منجر به جذب بیشتر آب و کاهش جمعیت باکتریایی انتهای ساقه و محلول‌های گلجای می‌شوند (Sunpapao *et al.*, 2019).

ردیابی نانولوله کربن در ساقه

عکس‌برداری با میکروسکوپ الکترونی از مقاطع عرضی ساقه گل‌ها در تیمار شاهد و بهترین تیمار از نظر ماندگاری گل، یعنی نانوکامپوزیت MWCNTs-Triton X-100 با غلظت ۲ میلی گرم بر لیتر، انجام شد. نتایج حاصل از عکس‌برداری، تجمع نانولوله‌ها را به صورت کلاف‌های درهم تنیده شده (شکل ۵) در ساقه نشان داد. تجمع نانولوله‌ها در ساقه نقش نانوکامپوزیت‌ها را به عنوان یک حامل آب به بخش‌های بالایی ساقه، برگ و گل نشان می‌دهد، این امر باعث تداوم جریان آب در ساقه گل ژربرا در طول دوره پس از برداشت می‌شود که سبب کاهش خمیدگی ساقه، افزایش کیفیت و ماندگاری گل‌ها نسبت به شاهد شده است.

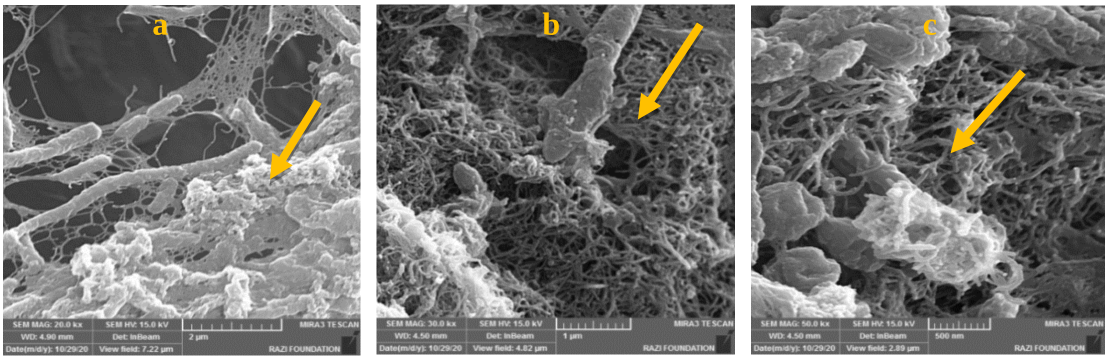
نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تمام تیمارهای اعمال شده باعث افزایش عمر گلجای گل شاخه بریدنی ژربرا رقم 'Rosalin' می‌شوند. تیمار نانوکامپوزیت MWCNTs-Triton X-100 با غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر عمر گلجای گل‌ها را حدود ۸ روز نسبت به شاهد افزایش داد. عمر گلجای طولانی گل‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف نانوکامپوزیت نشان‌دهنده نقش مطلوب این تیمارها در کاهش انسداد آوندی ناشی از رشد باکتری‌ها و در نتیجه افزایش جذب آب و وزن‌تر نسبی گل شاخه بریدنی ژربرا است. همچنین مشاهده تصاویر SEM بیانگر عبور نانولوله‌های کربنی از آوند گل‌ها بود، که سبب افزایش عمر گلجای شد.



شکل ٤– وضعیت آلودگی باکتریایی در انتهای ساقه برش خورده ژربرا رقم 'Rosalin'. A: شاهد؛ B:(MWCNTs-Triton X-100 (2 mg.L^{-1}

Figure 4- Bacterial contamination status at the end of gerbera cv. 'Rosalin' cut stem. A: control; B: MWCNTs-Triton X-100 (2 mg.L^{-1})



شکل ٥– مقطع ساقه (ابعاد ۲ میکرومتر (a)، ۱ میکرومتر (b) و ۵۰۰ نانومتر (c)) و تجمع نانولوله‌ها در ساقه گل شاخه بریده ژربرا رقم 'Rosalin'

Figure 5- Cross section of stem (dimensions: 2 µm (a),1 µm (b), and 500 nm (c)) and accumulation of nanotubes in gerbera cv. 'Rosalin' cut flower stem

منابع

1. Abd-El-Hady, W.M.F. (2020). Effect of potassium nitrate and adenosine triphosphate on pre-and post-harvest gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) Plants. *Scientific Journal of Flowers and Ornamental Plants 7*(3): 337-348. http://doi.org/10.21608/sjfop.2020.114574.
2. Abdoli, F., Dehestani Ardakani, M., & Gholamnezhad, J. (2019). Improving vase life and qualitative properties of cut lisianthus (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.) by tragacanth gel and hot water. *Flower and Ornamental Plants 3*(2): 43-54.
3. Ahmadi-Majd, M., Mousavi-Fard, S., Rezaei Nejad, A., & Fanourakis, D. (2022). Carbon nanotubes in the holding solution stimulate flower opening and prolong vase life in carnation. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture 9*(1): 1-22. http://doi.org/10.1186/s40538-021-00264-1.
4. Ahmadi-Majd, M., Rezaei Nejad, A., Mousavi-Fard, S., & Fanourakis, D. (2021). Postharvest application of single, multi-walled carbon nanotubes and nanographene oxide improves rose keeping quality. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 1-15. http://doi.org/10.1080/14620316.2021.1993755.
5. Amin, O. A. (2017). Influence of Nanosilver and Stevia extract on cut *Anthurium* inflorescences. *Middle East Journal of Applied Sciences 7*(2): 299-313.
6. Amingad, V., Sreenivas, K.N., Fakrudin, B., Seetharamu, G.K., Shankarappa, T.H., & Venugopalan, R. (2017). Comparison of silver nanoparticles and other metal nanoparticles on postharvest attributes and bacterial load in cut

roses var. Taj Mahal. *International Journal of Pure and Applied Bioscience 5*(6): 579-584. http://doi.org/10.18782/2320-7051.2610.

7. Atefepour, E., Saadatian, M., Asil, M.H., & Rabiei, B. (2021). Effect of silver nano particles and 8-hydroxyquinoline citrate on the longer life of cut Gerbera (*Gerbera jamesonii*)'Sunway'flowers. *Scientia Horticulturae* 289: 110474. http://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110474.
8. Avilala, D.P., Lakshmi, K.S., Prasad, T.N.V.K.V., Bhaskar, V.V., Ramaiah, M., & Kadiri, L. (2021). Effect of nano silver and silver nitrate on vase life of gerbera (*Gerbera jamesonii*) cv. Madagascar. *The Pharma Innovation Journal 10*(4): 967-970. http://doi.org/10.22271/chemi.2021.v9.i1ah.11594.
9. Bahremand, S., Razmjoo, J., & Farahmand, H. (2014). Effects of nano-silver and sucrose applications on cut flower longevity and quality of tuberose (*Polianthus tuberosa*). *International Journal of Horticultural Science and Technology 1*(1): 67-77. http://doi.org/10.22059/ijhst.2014.50519.
10. Balestra, G.M., Agostini, R., Varvaro, L., Mencarelli, F., & Bellincontro, A. (2005). Bacterial populations related to Gerbera (" *Gerbera jamesonii*" L.) stem break. *Phytopathol Mediterr* 44: 291–299.
11. Bankole, M.T., Abdulkareem, A.S., Mohammed, I.A., Ochigbo, S.S., Tijani, J.O., Abubakre, O.K., & Roos, W.D. (2019). Selected heavy metals removal from electroplating wastewater by purified and polyhydroxylbutyrate functionalized carbon nanotubes adsorbents. *Scientific Reports 9*(1): 1-19. http://doi.org/10.1038/s41598-018-37899-4.
12. Camargo, P.H.C., Satyanarayana, K.G., & Wypych, F. (2009). Nanocomposites: synthesis, structure, properties and new application opportunities. *Materials Research 12*(1): 1-39. http://doi.org/10.1590/S1516-14392009000100002.
13. Chehrazi, M., Pourghasemi, D., & Khoshbakht, M. (2018). The effect of planting methods and calcium nanoparticles spray on quality, quantity and vase life of *Gladiolus hybrida* cv. Magma. *Journal of Plant Productions 41*(2): 55-66.
14. Dole, J. M. & Wilkins, H. F. (2004). Floriculture: Principles and Species. Pearson Prentice Hall.
15. El-Serafy, R.S. (2019). Silica Nanoparticles Enhances Physio-Biochemical Characters and Postharvest Quality of L. Cut Flowers. *Journal of Horticultural Research*, 27(1): 47-54. DOI: 10.2478/johr-2019-0006.
16. Fatemi, S.M., & Foroutan, M. (2015). Study of dispersion of carbon nanotubes by Triton X-100 surfactant using molecular dynamics simulation. *Journal of The Iranian Chemical Society 12*(11): 1905-1913. http://doi.org/10.1007/s13738-015-0665-1.
17. Fathi, Z., Nejad, R.A.K., Mahmoodzadeh, H., & Satari, T.N. (2017). Investigating of a wide range of concentrations of multi-walled carbon nanotubes on germination and growth of castor seeds (*Ricinus communis* L.). *Journal of Plant Production Research 57*(3): 228-236. http://doi.org/10.1515/jppr-2017-0032.
18. García-González, A., Soriano-Melgar, L.D.A.A., Cid-López, M.L., Cortez-Mazatán, G.Y., Mendoza-Mendoza, E., Valdez-Aguilar, L.A., & Peralta-Rodríguez, R.D. (2022). Effects of calcium oxide nanoparticles on vase life of gerbera cut flowers. *Scientia Horticulturae* 291: 110532. http://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110532.
19. Gerabeygi, K., Roein, Z., & Rezvanipour, S. (2021). Control of stem bending in cut gerbera flowers through application of dithiothreitol and thioglycolic acid as wound reaction inhibitors. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 96*(5): 653-662. http://doi.org/10.1080/14620316.2021.1887768.
20. Gopannagari, M., Kumar, D.P., Park, H., Kim, E.H., Bhavani, P., Reddy, D.A., & Kim, T.K. (2018). Influence of surface-functionalized multi-walled carbon nanotubes on CdS nanohybrids for effective photocatalytic hydrogen production. *Applied Catalysis B: Environmental* 236: 294-303. http://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.05.009.
21. Haberman, A., Zelinger, E., & Samach, A. (2017). Scanning electron microscope (SEM) imaging to determine inflorescence initiation and development in olive. *Bio-Protocol 7*(19): e2575-e2575. http://doi.org/10.21769/BioProtoc.2575.
22. Haghighi, M., & da Silva, J.A.T. (2014). The effect of carbon nanotubes on the seed germination and seedling growth of four vegetable species. *Journal of Crop Science and Biotechnology 17*(4): 201-208. http://doi.org/10.1007/s12892-014-0057-6.
23. Hassan, F.A.S., Ali, E.F., & El-Deeb, B. (2014). Improvement of postharvest quality of cut *rose* cv. 'First Red'by biologically synthesized silver nanoparticles. *Scientia Horticulturae* 179: 340-348. http://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.053.
24. He, S., Joyce, D.C., Irving, D.E., & Faragher, J. D. (2006). Stem end blockage in cut Grevillea 'Crimson Yul-lo'inflorescences. *Postharvest Biology and Technology*, 41(1): 78-84. http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.03.002.
25. Hema, P., Bhaskar, V.V., Dorajeerao, A.V.D., & Suneetha, D.R.S. (2018). Effect of post-harvest application of biocides on vase life of cut gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus ex. Hook) cv. Alppraz. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 7. http://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.703.300.
26. Jamali Moghadam, H., & Hassanpour Asil, M. (2021). Improving morpho-physiological characteristics and extending vase life of Lily (*Lilium* LA Hybrid) cv. Original Love using gibberellic acid and humic acid. *Flower and Ornamental Plants 6*(1): 49-70.
27. Jamaloei, B.Y. (2009). Insight into the chemistry of surfactant-based enhanced oil recovery processes. *Recent*

Patents on Chemical Engineering 2(1): 1-10. http://doi.org/10.2174/1874478810902010001.

28. Joseph, S., & Aluru, N.R. (2008). Why are carbon nanotubes fast transporters of water? *Nano Letter 8*(2): 452-458. http://doi.org/10.1021/nl072385q.
29. Khodakovskaya, M., Dervishi, E., Mahmood, M., Xu, Y., Li, Z., Watanabe, F., &Biris, A.S. (2009). Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. *ACS Nano 3*(10): 3221-3227. http://doi.org/10.1021/nn900887m.
30. Koczkur, K.M., Mourdikoudis, S., Polavarapu, L., & Skrabalak, S.E. (2015). Polyvinylpyrrolidone (PVP) in nanoparticle synthesis. *Dalton Transactions 44*(41): 17883-17905. http://doi.org/10.1039/C5DT02964C.
31. Koob, A.O., & Borgens, R.B. (2006). Polyethylene glycol treatment after traumatic brain injury reduces β-amyloid precursor protein accumulation in degenerating axons. *Journal of Neuroscience Research 83*(8): 1558-1563. http://doi.org/10.1002/jnr.20837.
32. Lahiani, M.H., Dervishi, E., Ivanov, I., Chen, J., & Khodakovskaya, M. (2016). Comparative study of plant responses to carbon-based nanomaterials with different morphologies. *Nanotechnology 27*(26): 265102. http://doi.org/10.1088/0957-4484/27/26/265102.
33. Langroudi, M.E., Hashemabadi, D., KalateJari, S., & Asadpour, L. (2020). Effects of silver nanoparticles, chemical treatments and herbal essential oils on the vase life of cut alstroemeria (*Alstroemeria* 'Summer Sky') flowers. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 95*(2): 175-182. http://doi.org/10.1080/14620316.2019.1657786.
34. Liao, S., Zhang, Y., Pan, X., Zhu, F., Jiang, C., Liu, Q., & Chen, L. (2019). Antibacterial activity and mechanism of silver nanoparticles against multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa*. *International Journal of Nanomedicine* 14: 1469. http://doi.org/10.2147/IJN.S191340.
35. Liné, C., Larue, C., & Flahaut, E. (2017). Carbon nanotubes: Impacts and behaviour in the terrestrial ecosystem-A review. *Carbon* 123: 767-785. http://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.07.089.
36. Liu, J., He, S., Zhang, Z., Cao, J., Lv, P., He, S., Cheng, G. & Joyce, D. C. (2009). Nano-silver pulse treatments inhibit stem-end bacteria on cut *Gerbera* cv. Ruikou flowers. *Postharvest Biology and Technologoy* 54: 59–62. http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.05.004.
37. Liu, Z., Robinson, J.T., Sun, X., & Dai, H. (2008). PEGylated nanographene oxide for delivery of water-insoluble cancer drugs. *Journal of the American Chemical Society 130*(33): 10876-10877. http://doi.org/10.1021/ja803688x.
38. Madadzadeh, N., Hassanpour Asil, M., & Roein, Z. (2014). Effect of Essential Oils and Silver Nanoparticles (SNP) on Vase Life of *Alstroemeria* Cut Flowers (cv. Sukari). *Iranian Journal of Horticultural Science 45*(1): 67-78.
39. Maity, T.R., Samanta, A., Saha, B., & Datta, S. (2019). Evaluation of Piper betle mediated silver nanoparticle in post-harvest physiology in relation to vase life of cut spike of *Gladiolus*. *Bulletin of the National Research Centre 43*(1): 1-11. http://doi.org/10.1186/s42269-019-0051-8.
40. Naing, A.H., & Kim, C.K. (2020). Application of nano-silver particles to control the postharvest biology of cut flowers: A review. *Scientia Horticulturae* 270: 109463. http://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109463.
41. Nazari, F., & Saba, M.K. (2017). Combination effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) with ajowan essential oil and silver nanoparticles on postharvest life of gerbera (*Gerbera jamesonii*) cut flowers. *HortScience 52*(11): 1550-1555. http://doi.org/10.21273/HORTSCI12299-17.
42. Paul, D., Jannat, A., Mahmud, A.A., Akhter, M.J., & Mahmood, S. (2021). Preservative solutions on vase life and quality of cut *Polianthes tuberosa* L. *Ornamental Horticulture* 27: 417-424. http://doi.org/10.1590/2447-536X.v27i3.2375.
43. Perik, R.R., Razé, D., Ferrante, A., & van Doorn, W.G. (2014). Stem bending in cut *Gerbera jamesonii* flowers: Effects of a pulse treatment with sucrose and calcium ions. *Postharvest Biology and Technology* 98: 7-13. http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.06.008.
44. Perik, R.R., Razé, D., Harkema, H., Zhong, Y., & van Doorn, W. G. (2012). Bending in cut *Gerbera jamesonii* flowers relates to adverse water relations and lack of stem sclerenchyma development, not to expansion of the stem central cavity or stem elongation. *Postharvest Biology and Technology* 74: 11-18. http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.06.009.
45. Pisal, D.S., Kosloski, M.P., and Balu-Iyer, S.V. (2010). Delivery of therapeutic proteins. *Journal of Pharmaceutical Sciences 99*(6): 2557-2575. http://doi.org/10.1002/jps.22054.
46. Rahman, M.M., Ahmad, S.H., Mohamed, M.T.M., & Ab Rahman, M.Z. (2019). Improving the vase life of cut Mokara red orchid flower using leaf extracts with silver nanoparticles. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences 89*(4): 1343-1350. http://doi.org/10.1007/s40011-018-1055-0.
47. Rashidiani, N., Nazari, F., Javadi, T., & Samadi, S. (2020). "Copper nanoparticles (CuNPs) increase the vase life of cut carnation and *Chrysanthemum* flowers: antimicrobial ability and morphophysiological improvements." *Ornamental Horticulture* 26: 225-235. http://doi.org/10.1007/s40011-018-1055-0.
48. Saifuddin, N., Raziah, A.Z., & Junizah, A.R. (2013). Carbon Nanotubes: A Review on Structure and Their Interaction with Proteins. *Journal of Chemistry* 1-18. http://doi.org/10.1155/2013/676815.
49. Shabanian, S., Esfahani, M.N., Karamian, R., & Tran, L.S.P. (2018). Physiological and biochemical modifications

by postharvest treatment with sodium nitroprusside extend vase life of cut flowers of two gerbera cultivars. *Postharvest Biology and Technology* 137: 1-8. http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.009.

50. Smart, R.E., and Bingham, G.E. 1974. Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology 53*(2): 258-260. http://doi.org/10.1104/pp.53.2.258.
51. Solgi, M. (2020). Application of Biogenic and Non-biogenic Synthesized Metal Nanoparticles on Longevity of Agricultural Crops. *In Biogenic Nano-Particles and their Use in Agro-ecosystems*. Springer, Singapore, 205-220. http://doi.org/10.1007/978-981-15-2985-6_12.
52. Sunpapao, A., Wonglom, P., Satoh, S., Takeda, S., & Kaewsuksaeng, S. (2019). Pulsing with Magnesium Oxide Nanoparticles Maintains Postharvest Quality of Cut Lotus Flowers (*Nelumbo nucifera* Gaertn) 'Sattabongkot'and 'Saddhabutra'. *The Horticulture Journal* 87: 1-7. http://doi.org/10.2503/hortj.UTD-087.
53. Tiwari, D.K., Dasgupta-Schubert, N., Cendejas, L.V., Villegas, J., Montoya, L.C., & García, S. B. (2014). Interfacing carbon nanotubes (CNT) with plants: enhancement of growth, water and ionic nutrient uptake in maize (*Zea mays*) and implications for nanoagriculture. *Applied Nanoscience 4*(5): 577-591. http://doi.org/10.1007/s13204-013-0236-7.
54. Uthaman, A., Lal, H. M., Li, C., Xian, G., & Thomas, S. (2021). Mechanical and water uptake properties of epoxy nanocomposites with surfactant-modified functionalized multiwalled carbon nanotubes. *Nanomaterials 11*(5): 1234. http://doi.org/10.3390/nano11051234.
55. Villagarcia, H., Dervishi, E., de Silva, K., Biris, A.S., & Khodakovskaya, M.V. (2012). Surface chemistry of carbon nanotubes impacts the growth and expression of water channel protein in tomato plants. *Small 8*(15): 2328-2334. http://doi.org/10.1002/smll.201102661.
56. Wu, Z., Huang, X., He, S., Pang, Z., Lin, X., Lin, S., & Li, H. (2019). Transcriptomics profile reveals the temporal molecular events triggered by cut-wounding in stem-ends of cut 'Tiber' lily flowers. *Postharvest Biology and Technology* 156: 110950. http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110950.
57. Zhou, Y., Fang, Y., & Ramasamy, R.P. (2019). Non-covalent functionalization of carbon nanotubes for electrochemical biosensor development. *Sensors 19*(2): 392. http://doi.org/10.3390/s19020392.